

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

Ing. Rostislav Vídenka

NĚKTERÉ OTÁZKY PŘEDCERTIKAČNÍCH TESTŮ EMC
SOME ASPECTS OF EMC PRE-COMPLIANCE TESTING

ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

Studijní obor: Elektronika a sdělovací technika
Školitel: Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc.
Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

KLÍČOVÁ SLOVA

Předcertifikační měření, EMC, CNE, ERS, OATS, měření vyzářeného rušení.

KEYWORDS

Pre-compliance testing, EMC, CNE, ERS, OATS, radiated disturbance measurement.

DIZERTAČNÍ PRÁCE JE ULOŽENÁ:

Ústav Radioelektroniky
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Vysoké učení technické v Brně
Purkyňova 118
612 00 Brno

OBSAH

1	Úvod	5
2	Doporučení pro používání speciálních signálových zdrojů	6
2.1	Vliv pozice ERS generátoru na odchylku měřené intenzity pole	6
2.2	Vliv pozice ERS generátoru na odchylku měřené intenzity pole ve stíněné místnosti	9
3	Porovnání výsledků měření vyzářeného rušení získaných v částečně bezodrazových a plně bezodrazových komorách	10
4	Testovací pracoviště na otevřeném prostranství	12
5	Doporučení pro předcertifikační měření vyzářeného rušení	20
5.1	Měřič rušení	20
5.2	Měřicí anténa	21
5.3	Testovací místo	22
6	Doporučený postup při předcertifikačním měření vyzářeného rušení	22
7	Závěr.....	24
8	Literatura	25

1 ÚVOD

Tato dizertační práce se zabývá vybranými otázkami předcertifikačních testů EMC (elektromagnetické kompatibility) se zaměřením na měření vyzářeného rušení (pásmo od 30 do 1000 MHz). Co to vlastně jsou předcertifikační testy? Můžeme říci, že předcertifikační testy EMC jsou testy, které nejsou prováděny oznámeným subjektem, nebo které v určitém ohledu nejsou prováděny podle platných norem a doporučení. Například neodpovídá použitá měřicí metoda, přístroje, pracoviště atd. Čím je více odchylek od standardních postupů měření, tím více narůstá neurčitost (chyba) měření. Testy i přes zjednodušení a omezení stále musí mít odpovídající vypovídací hodnotu, tedy aby po provedení předcertifikačních testů byla velká pravděpodobnost, že náš výrobek projde úspěšně zkouškami v certifikované laboratoři.

Smysl předcertifikačních testů spočívá:

- Ve zkrácení doby vývoje. Vzhledem k tomu, že vybudování certifikované zkušebny je velmi finančně náročné, je zkušeben malé množství a tak jsou delší čekací doby na provedení potřebných zkoušek. Pro některé zájemce o testy ve zkušebně může být i samotná cesta do zkušebny časově náročnější.
- V úspoře financí. Jeden test ve zkušebně stojí cca 20.000 Kč. Je potřeba více různých testů, a tak se opakované testy (v případě že výrobek předepsané normy na poprvé nesplní) mohou dosti prodražit.
- V získání informací o tom, jak která změna návrhu ovlivňuje EMC vlastnosti výrobku. Pokud mám možnost okamžité kontroly provedených úprav na výrobku, získám zkušenosti pro konstrukci dalších výrobků.
- Chyby návrhu či funkčnosti výrobku jsou odhaleny již v ranných fázích vývoje. Tímto se snižují celkové náklady a zkracuje doba vývoje.
- Ve zkvalitnění EMC vlastností výrobku. Je možné ihned ověřit funkčnost vyvíjeného zařízení a také vlastnosti ověřovat dále v průběhu celého vývoje, a tak dosáhnout optimálního návrhu. Pak zařízení bude vyzařovat méně, než kdyby v průběhu jeho vývoje bylo hledisko EMC zanedbáno a úroveň vyzařování by se upravovala až na téměř hotovém výrobku.

Ačkoliv se může zdát, že předcertifikační testy mají pouze výhody, tak díky jejich zjednodušení oproti plnohodnotným testům EMC mají vyšší neurčitost měření. Tato nevýhoda je ale mnohonásobně vyvážena úsporami nejen financí, ale především času během vývoje výrobku.

Vzhledem k tomu, že se předcertifikační testy dělají na různých pracovištích, s různým vybavením a pro různé potřeby, neexistuje doposud jednotná metodika měření vyzářeného rušení v rámci předcertifikačních testů EMC.

2 DOPORUČENÍ PRO POUŽÍVÁNÍ SPECIÁLNÍCH SIGNÁLOVÝCH ZDROJŮ

Pro práci na dizertační práci jsem měl k dispozici ERS generátor vyrobený britskou firmou Laplace Instruments (obrázek 2.1). Tento generátor je bateriově napájen, aby se vyloučil vliv napájecích kabelů (možné rušení z napájecího zdroje generátoru nebo rušení z napájecí sítě) a má kmitočtový rozsah od 30 do 1000 MHz. Rozměry generátoru jsou přibližně 20 x 15 x 20 cm (délka x šířka x výška) včetně antény. Jeho základem je pravděpodobně hřebenový (comb) generátor s odstupem spektrálních čar 2 MHz.

Pro získání všech výsledků jsem použil EMC spektrální analyzátor HP E7404A a logaritmicko-periodickou anténu od firmy Schaffner. Měřicí proces byl řízen počítačem a programem VEE firmy Agilent.



Obrázek 2.1: Emissions Reference Source od firmy Laplace Instruments (vlevo) a CNE III firmy York EMC Services Ltd. (vpravo) [10]

Bohužel tento kus je vadný a naměřené hodnoty intenzity pole ve třímetrové vzdálenosti se podstatně liší od dodaných kalibračních hodnot. Přestože nemají generátorem vyzařované frekvence správnou úroveň, jsou alespoň časově stále a bylo možné uskutečnit některá měření.

Další speciální signálový zdroj s obchodním názvem CNE III (Comparison Noise Emitter), který byl později k dispozici pro měření, je plně funkční a bylo možné pokračovat v pokusech s „kalibrací“ EMC předcertifikačního pracoviště. Základem tohoto zdroje je šumový generátor, jehož signál po zesílení poskytuje užitečný signál v rozsahu od 9 kHz do 5 GHz. Rozměry zdroje jsou 19 x 14 x 18 cm (délka x šířka x výška) včetně základní antény pro pásmo od 30 do 1000 MHz (na obrázku 2.1 vpravo nahoře).

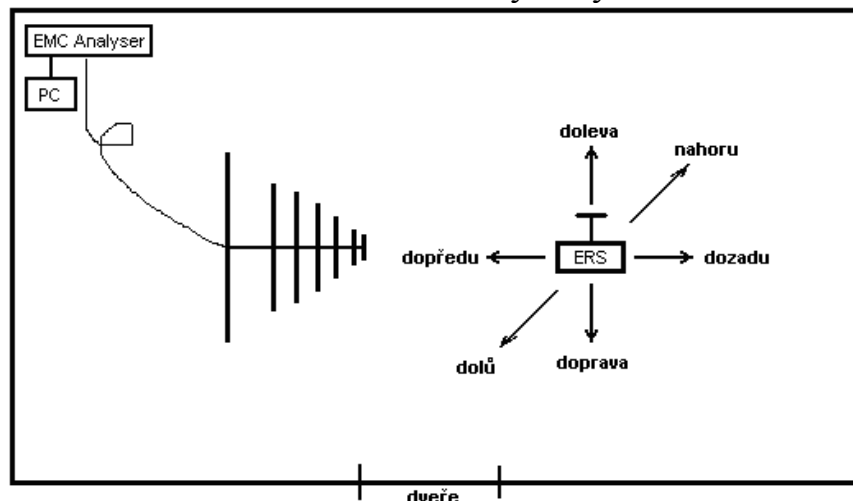
2.1 VLIV POZICE ERS GENERÁTORU NA ODCHYLKU MĚŘENÉ INTENZITY POLE

Při měřeních byl zkoumán vliv pozice ERS generátoru na naměřenou intenzitu pole. Toto měření mělo ověřit, jak velký vliv na výsledek „kalibrace“ EMC předcertifikačního pracoviště má i relativně malý posun ERS generátoru

(speciálního signálového zdroje) z jeho výchozího umístění. U zkoušeného zařízení, které by mohlo mít případně i větší rozměry než ERS generátor, totiž zdroj rušení s velkou pravděpodobností nebude prostorově umístěn do geometrického středu zkoušeného zařízení. Vzhledem k tomu, že se speciální signálové zdroje se svými rozměry a prostorovým uspořádáním chovají jako bodové zářiče, může dojít po „kalibraci“ předcertifikačního pracoviště a výměně zkoušeného zařízení za speciální signálový zdroj k posunu mezi pomyslným bodem vyzařování zdroje a místa, ze kterého vychází případné rušení ze zkoušeného zařízení.

Měřicí pracoviště bylo umístěno v přízemní místnosti na ulici Purkyňova 118 Brno, které má na délku 11 metrů, na šířku 7 metrů a na výšku cca 4 metry. Přijímací anténa typu BiLog firmy Schaffner byla umístěna ve výšce 1,6 m a skloněna dolů, aby mířila přímo na ERS, jehož referenční poloha (výška nekovové podložky) byla 80 cm nad zemí v měřicí vzdálenosti 3 m od antény (referenčního bodu). K měření intenzity pole byl použit EMC spektrální analyzátor HP E7404A. Celý proces měření a sběru dat řízen osobním počítačem a programem Agilent VEE 8.0 Pro. Schematické zobrazení měřicího pracoviště umístěného uprostřed místnosti je na obrázku 2.2.

ERS bylo posunováno o 10 a 20 cm ve směrech dopředu k anténě, dozadu od antény, nahoru a dolů, doleva a doprava. Po každém posunutí byla změřena intenzita pole v obou polarizacích v kmitočtovém pásmu od 30 do 800 MHz. Měřit až do 1000 MHz bylo bezvýznamné, protože ERS generátor nad 800 MHz vyzařuje pole na hranici měřitelnosti. Z měření bylo také vyloučeno kmitočtové pásmo od 88 do 110 MHz z důvodu silného rušení od rozhlasových vysílačů.



Obrázek 2.2 : Schematické znázornění pracoviště, půdorys

Rozdíly mezi intenzitami pole pro výchozí polohu E_{STRED} a posunutým ERS generátorem E_{POSUN} byly počítány podle následujícího vzorce

$$\text{delta}[\text{dB}] = \text{abs}(E_{\text{STRED}}[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] - E_{\text{POSUN}}[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]). \quad (1)$$

Posun doleva a doprava

Při posouvání ERS generátorem doleva a doprava jsou odchylky poměrně malé, převážně pod 4 dB u vertikální polarizace a pod 3 dB u horizontální polarizace.

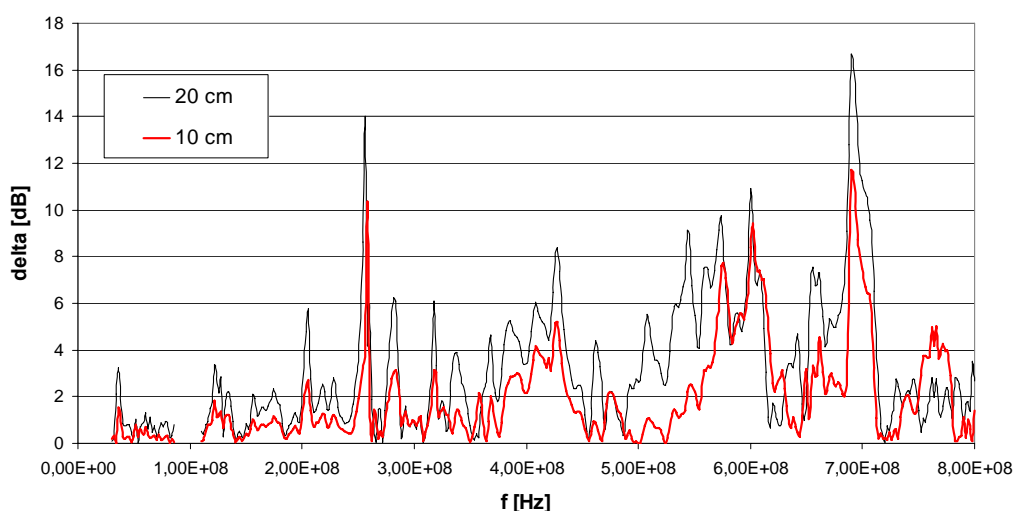
Posun dopředu a dozadu

V tomto případě jsou už rozdíly od středové pozice výraznější než při posunu doleva či doprava. Většina hodnot sice nepřesahuje 6 dB, ale v mezním případě dosahují až ke 14-ti dB.

Měření intenzity pole bylo v tomto případě výrazně citlivější na posun zdroje rušení (ERS generátoru) než při posunu doleva či doprava

Posun nahoru a dolů

Poslední měření bylo pro posun ERS generátoru směrem nahoru a směrem dolů. Posun pro vertikální polarizaci jakožto ukázka jednoho z nejhorších případů je na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Posun nahoru, horizontální polarizace

Měření intenzity pole je v případě posunu zdroje rušení (ERS generátoru) na posun nahoru a dolů více citlivé než v případě posunu doleva či doprava, ale méně citlivé než v případě posunu dopředu a dozadu.

Všechny naměřené průběhy a závislosti jsou platné pouze pro přízemní místnost a pro použité přístrojové vybavení. Dle mého názoru na odchylky má vliv hlavně geometrie a materiály místnosti způsobující odrazy a dále přijímací anténa se svou vyzařovací charakteristikou.

Z měření „Vlivu pozice ERS generátoru na odchylku měřené intenzity pole“ vyplývá, že u zkoumaných zařízení je třeba před začátkem vlastního měření vyzářeného rušení věnovat pozornost lokalizaci zdánlivého bodu, ze kterého rušení vychází. Tento bod je nutné umístit do místa, ve kterém byl geometrický střed speciálního signálového zdroje během „kalibrace“ pracoviště. Pro lokalizaci zdánlivých bodů je vhodné použít ruční sondy blízkého pole. Je možné, že takových bodů bude více a jejich poloha se bude s kmitočtem měnit. Tímto postupem by mělo dojít k omezení odchylek a následně tedy i přesnějšímu měření. Pokud by lokalizaci nabyla neprovedena a zkoušené zařízení by bylo větších rozměrů větších, než jsou speciální signálové zdroje (krychle s hranou cca 20 cm), může dojít i po „kalibraci“

pracoviště a následném měření zkoušeného zařízení k chybám výsledku, podobným jaké byly naměřeny při posunování ERS generátorem ze středové pozice.

2.2 VLIV POZICE ERS GENERÁTORU NA ODCHYLKU MĚŘENÉ INTENZITY POLE VE STÍNĚNÉ MÍSTNOSTI

Pokračováním měření v předchozí kapitole bylo měření ve stíněné komoře (prostory UREL VUT Brno, Purkyňova 118). Komora má rozměry přibližně 2,6 * 2,6 * 3,5 metru.

Nespornou výhodou stíněných komor je absence rušivého elektromagnetického pozadí. Avšak jsou zde komplikace při měření díky odrazům EM vlnění od kovových (ocelových) stěn a také rezonance komplikující měření.

Přístrojové vybavení, použité při měření v komoře, postup i kmitočtový rozsah měření byl stejný jako v předešlém měření v přízemní místnosti, pouze měřicí vzdálenost musela být díky rozměrům komory snížena na 2 metry.

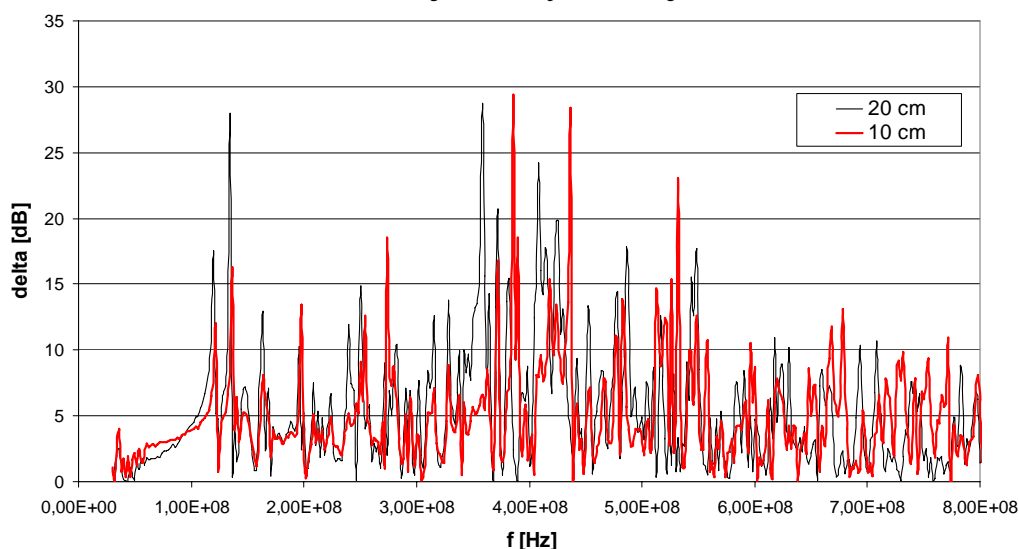
Vzhledem k symetrickému umístění ERS generátoru mezi stěny komory, byl předpoklad, že posun doleva a doprava bude mít velmi podobný výsledek, a tak byla první část měření provedena s posunem ERS generátoru pouze doleva (z pohledu přijímací antény) s výsledky na obrázcích 2.18 a 2.19. Posunováno generátorem bylo o 10 a 20 cm.

Posun doleva

Odchytky při posunu doleva jsou poměrně vysoké a převážně do 10 dB, ale i s několika extrémy přes 20 dB.

Posun dopředu

Při posunu směrem k měřicí anténě – dopředu bylo ERS generátorem posunováno nejen o 10 a 20 cm, ale i o 30 cm. Nejhorší výsledek je na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Posun dopředu s horizontální polarizací

Odchytky naměřené intenzity už při posunu dopředu o 10 cm jsou tak velké, že bez hledání zdánlivého místa vyzařování ze zkoušeného zařízení, nemá jakékoliv měření vyzařovaného rušení ve stíněné komoře význam.

Posun dozadu

Při posunu ERS generátoru dozadu směrem od měřicí antény má podobný charakter jako při posunu směrem k anténě.

Z měření jednoznačně vyplývá, že pozice ERS generátoru při měření ve stíněné místnosti má značný vliv na odchytky intenzity pole oproti výchozí pozici, a je tedy potřeba při kalibraci předcertifikačního pracoviště ve stíněné místnosti s využitím speciálních signálových zdrojů (CNE, ERS, ...) pečlivě hledat místo – zdánlivý bod vyzařování – na nebo v EUT, ze kterého rušení vychází a toto místo umístit tam, kde při „kalibraci“ (viz. kapitola 1.6) byl střed speciálního signálového zdroje.

Pokud by byla možnost volit měření ve stíněné komoře nebo pracoviště na otevřeném prostranství (OATS), a výsledkem měření by měla být informace, zda zkoušené zařízení splňuje limity, tak bych volil i za cenu komplikací s rušivým pozadím měření na otevřeném prostranství, protože výsledek nebude tolik deformován mnohonásobnými odrazy a rezonancemi ve stíněné komoře.

3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ VYZÁŘENÉHO RUŠENÍ ZÍSKANÝCH V ČÁSTEČNĚ BEZODRAZOVÝCH A PLNĚ BEZODRAZOVÝCH KOMORÁCH

V porovnání s měřením na otevřeném pracovišti (OATS) má měření v částečně bezodrazové komoře i jednu nevýhodu a to finanční náročnost. Pořizovací cena SAC se totiž pohybuje v řádu jednotek až desítek miliónů korun podle požadované měřicí vzdálenosti. Také polohovací stožár pro přijímací anténu, který musí být vyroben z nekovových materiálů, aby neovlivňoval rozložení pole, je nákladný.

Na druhou stranu při měření v plně bezodrazové komoře (FAC – fully anechoic chamber) nejsou odrazy od vodivé zemní roviny a tak odpadá výškové skenování přijímací anténou. SAC je rozměrově menší než FAC a díky tomu jsou pořizovací náklady nižší. Tedy pro předcertifikační testy by bylo výhodnější provádět měření v FAC.

Pro porovnání výsledků měření v plně a částečně bezodrazové komoře vezmeme jednoduchý teoretický předpoklad. Budeme uvažovat všesměrové vyzařovací charakteristiky zdroje rušení a přijímací antény, dále pak odraz od zemní roviny bude stoprocentní. Pak na rozdíl od FAC bude v SAC přijímací anténa přijímat nejen přímou, ale i odraženou vlnu. A pokud při měření v SAC hledáme na každé měřené frekvenci maximální hodnotu intenzity, čili přímá a odražená vlna se setkají ve fázi v místě přijímací antény, pak na základě zjednodušení naměříme v SAC oproti FAC hodnoty intenzity o 6 dB vyšší.

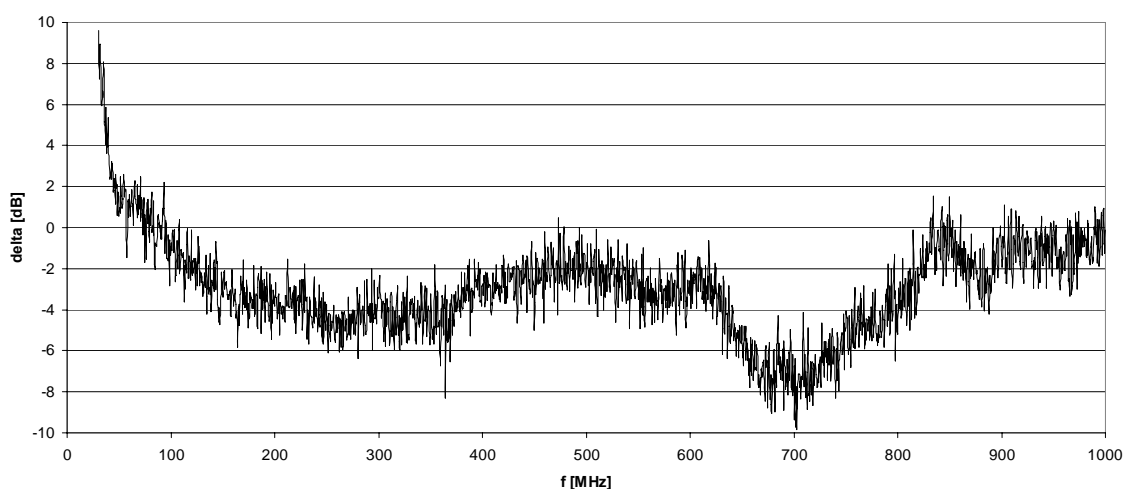
Zjednodušení skutečnosti bude mít určitě vliv na rozdíl intenzit. Odražená vlna má delší dráhu a tedy menší intenzitu než vlna přímá a tak by rozdíl měl být nižší

nežli 6 dB. Vliv směrové charakteristiky přijímací antény by měl mít také menší vliv, protože při měření v FAC je anténa směřována přímo na EUT, přičemž v SAC je anténa většinou umístěna vodorovně, což vlivem směrové charakteristiky antény omezí působení vlny odražené. Antény typu BiLog mají obecně vyzařovací charakteristiku v ose antény vyrovnanou a na frekvenci jen nepatrně závislou. Vyzařovací charakteristika EUT už má mít na rozdíl intenzit podstatnější vliv, který by ale měl být omezen otočným stolem s EUT, díky kterému najdeme směr maximálního vyzařování z EUT.

V ohlášeném subjektu (certifikované laboratoři) VTÚPV Vyškov byl měřen CNE generátor dne 6.1.2009 za použití měřicího přijímače Rohde & Schwarz ESIB 40 (typ 1088.7490.40) s frekvenčním rozsahem 20 Hz – 40 GHz a antény Schaffner typu BiLog. Nejdříve bylo změřeno vyzářené rušení CNE generátoru dle platných EMC předpisů na třímetrovou vzdálenost, tedy i s výškovým skenováním přijímací anténou. Pak byly mezi CNE a přijímací anténou na vodivou zem položeny kombinované absorbéry (ferit a polyuretan, celková výška cca 60 cm), výška přijímací antény byla 1 m a opět byly změřeny maximální hodnoty intenzity pole. Rozdíly intenzity pole změřené v plně E_{FAC} a v částečně bezodrazové komoře E_{SAC} jsou vypočítány podle jednoduché rovnice

$$\Delta [dB] = E_{FAC} [dB\mu V / m] - E_{SAC} [dB\mu V / m] \quad (2)$$

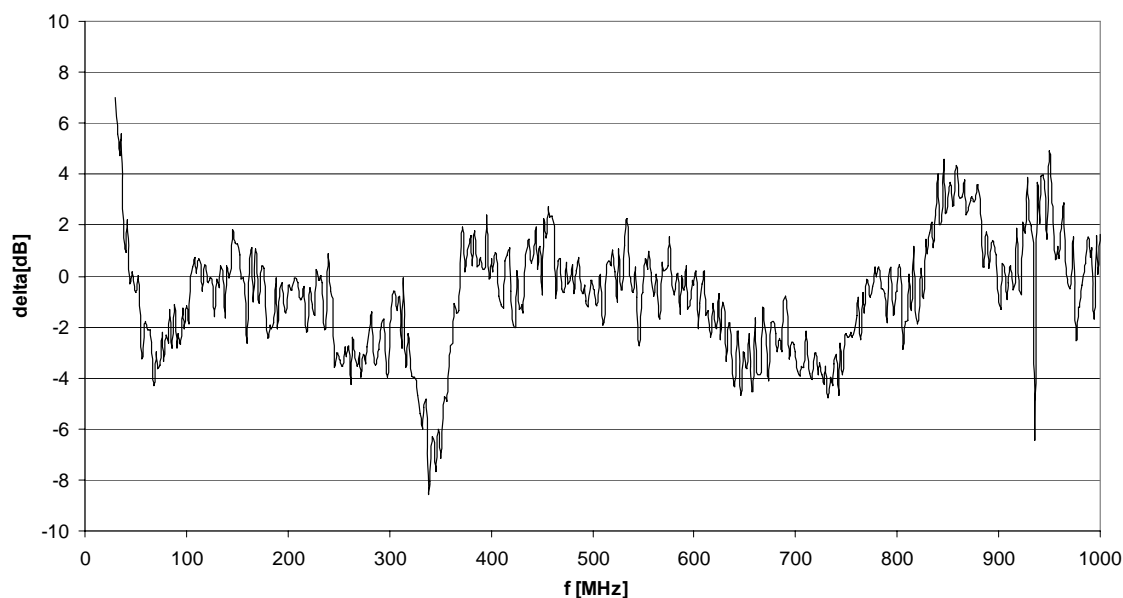
Ukázka výsledků porovnání FAC a SAC ve VTÚPV Vyškov jsou na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Horizontální polarizace, špičkový detektor

Pro většinu frekvenčních bodů jsou výsledky dle očekávání. Odchyly větší než předpokládaných 6 dB byly pod 150 MHz a pak kolem 700 MHz.

Další zhodnocení vlivu zemní roviny jsem provedl na základě kalibračních dat k CNE III generátoru. V tomto případě byly porovnány výsledky měření získaných v plně bezodrazové komoře (FAC) a na otevřeném testovacím pracovišti (OATS) (ukázka je na obrázku 3.2).



Obrázek 3.2: Horizontální polarizace, špičkový detektor

Obzvláště při horizontální polarizaci jsou si průběhy z obrázků 3.1 a 3.2 velmi podobné. Odchyłky, které jsou nad 0 dB a pod mínus 6 dB, jsou pravděpodobně způsobeny nedokonalostmi absorbérů, kterými byly obloženy stěny komory ve VTÚPV Vyškov a v laboratoři York EMC Services.

Na základě výsledků měření mých i měření uvedených v [20] je možné pro předcertifikační měření použít i plně bezodrazovou komoru. V tom případě je při vyhodnocování měření nutné použít limity vyzařování o 6 dB přísnější než v případě měření v komoře částečně bezodrazové, nebo od výsledků z plně bezodrazové komory odečíst hodnoty zobrazených např. na obrázku 3.1, který takto použijeme v podstatě jako korekční křivku.

Otázkou k dalšímu výzkumu zůstává, zda při absenci odrazivé podlahy nedojde při měření k nesprávnému výsledku v případě, že by maximum vyzařování zkoušeného zařízení (EUT) bylo směrem šikmo dolů – do prostoru mezi EUT a přijímací anténou, kde se toto elektromagnetické vlnění odráží od zemní roviny. Čas ušetřený na hledání maxima intenzity pole při každém výškovém kroku antény by bylo tedy vhodné věnovat hledání maxima a směru vyzařování ještě před začátkem vlastního měření pomocí ruční sondy blízkého pole („očíhávací“ sondou).

4 TESTOVACÍ PRACOVISTĚ NA OTEVŘENÉM PROSTRANSTVÍ

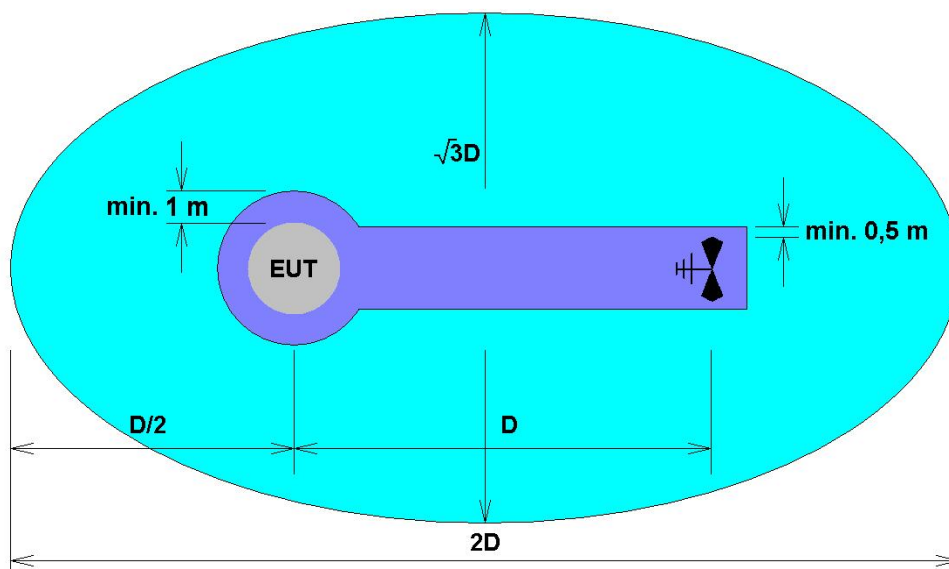
Vzhledem k tomu, že testovací místo je nejvýznamnějším zdrojem chyb a tedy i neurčitostí výsledku měření, je třeba výběru pracoviště věnovat velkou pozornost.

Předpokladem je, že naprostá většina předcertifikačních testů je prováděna mimo stíněné nebo částečně bezodrazové komory (samozřejmě také stíněné) a to v běžných laboratořích nebo na volném prostranství.

Půdorys pracoviště na volném prostranství (OATS) dle [4] je na obrázku 4.1. Další informace byly čerpány z [1, 7, 22]. Elipsa definovaná měřicí vzdáleností (3,10,30 nebo 100 m) musí být prostá jakýchkoliv předmětů, které by mohly způsobovat odrazy EM záření. Zkoušené zařízení umístěné na otočném stole a měřicí anténa na výškově nastavitelném stojanu jsou v ohniscích elipsy. Pokud bude odrazivý předmět stát na hranici elipsy, pak od něj odražená vlna urazí dvojnásobnou dráhu než vlna přímá a tedy bude mít nejméně o 6 dB nižší intenzitu. Dalším požadavkem je aby okolní rušení bylo minimálně o 20 dB pod úrovní rušení ze zkoušeného zařízení.

Další podmínkou je splnění definovaného odrazu vln od zemní roviny. Proto jsou doporučeny i minimální rozměry vodivé zemní plochy, která se nachází souvisle pod zkoušeným zařízením umístěným na otočném stole, pod anténou a mezi nimi (obrázek 5.1).

U malých zkoušených zařízení, kde je vhodnější třímetrová měřicí vzdálenost, je nepraktické uvažovat minimální rozměry zemní plochy, doporučení dle obrázku 5.2, ale použít uspořádání viz obr. 5.1. Vzdálenost se na rozdíl od obrázku 5.2 nebude měřit od kraje zařízení, ale od svislé projekce jeho geometrického středu na zemní rovinu.



Obrázek 4.1: Doporučené minimální rozměry zemnicí plochy (fialová barva) a minimální rozměry prostranství bez překážek (tyrkysová barva)

Pro ověření doporučených rozměrů pracoviště jsme provedli několik měření na střeše budovy Ústavu radioelektroniky. Střeška byla nejvhodnější dostupné místo pro měření, protože předměty, které by mohly způsobit odrazy elektromagnetických vln, se nacházejí v dostatečné vzdálenosti (min. 8 metrů) od generátoru i od antény. Dále bylo pracoviště orientováno tak, aby osa spojující generátor a anténu nebyla kolmá ani rovnoběžná s plochou obou zdí (na obr. 4.2 je vidět jen jedna, druhá je za fotografem) ani s kovovým zábradlím podél střechy. Touto orientací by měl být zajištěn minimální vliv těchto ploch. Pak tedy jedinou odraznou plochou je střeška, která je pokryta dlažbou. Na opakovatelnost výsledků pak bude mít vliv vlhkost

dlažby, případně vlhkost izolační vrstvy střechy pod dlažbou. Jedinou nevýhodou pracoviště na střeše je silné rušivé elektromagnetické pozadí.



Obrázek 4.2: Pracoviště na střeše, odrazná plocha na boku mezi generátorem a anténou

Byly provedeny tři sady měření s odraznou plochou k ověření rozměrů minimálního prostranství bez překážek. Jako předmět způsobující odrazy byla použita tabule hliníkového plechu tloušťky 2 mm a s rozměry 1 x 1,5 metru. Materiál i rozměry tabule zaručují téměř dokonalý odraz EM vlnění, a tak se dá říci, že jde o jakostní reflektor.

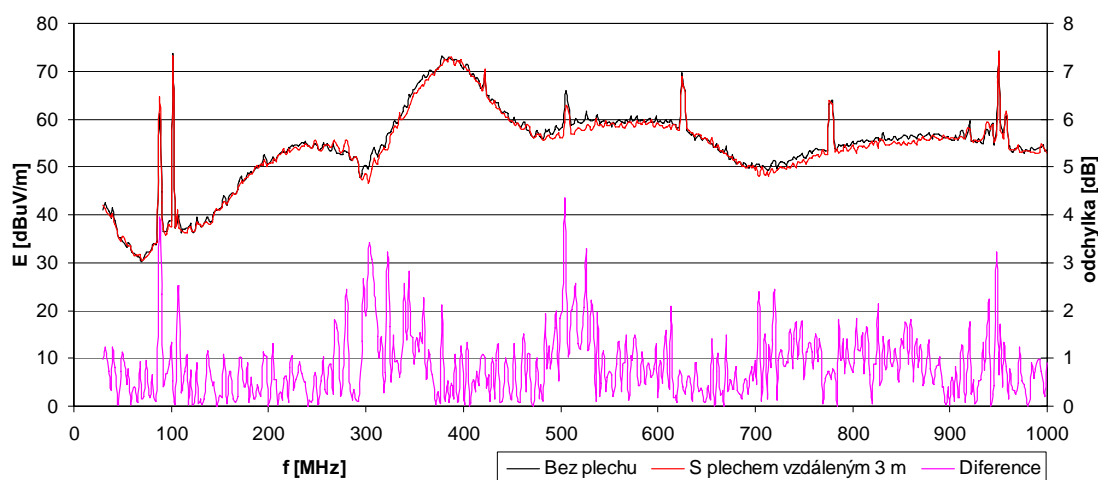
Ke generování definovaného rušení byl použit kalibrovaný CNE generátor se všesměrovou kapacitně prodlouženou monopolovou anténou. Příjemcí anténa od firmy Schaffner byla umístěna ve výšce 1,6 metru a směřovala přímo na geometrický střed CNE generátoru, který byl umístěn ve výšce 0,8 metru na nekovové podložce (stůl a papírová krabice). Měřicí vzdálenost byla 3 metry a intenzita pole byla měřena EMC spektrální analyzátor HP E7404A. Celý měřicí proces a sběr dat byl řízen počítačem a programem VEE firmy Agilent. Detektor byl použit špičkový a k omezení vlivu rušivého pozadí byly špičkové hodnoty změřeny desetkrát na každém kmitočtu a zprůměrovány. Průměrování u signálu šumového charakteru sice vede k chybě měření, kdy naměřené hodnoty jsou nižší než čistě u špičkového měření, ale výsledkem měly být rozdíly mezi dvěma hodnotami na jednom kmitočtu a nikoli přesné hodnoty intenzity pole.

Nejdříve byla změřena výchozí konfigurace, tedy bez reflektoru, a pak byly měřeny tři konfigurace umístění reflektoru. Plocha reflektoru rovnoběžně s osou spojující anténu a generátor, reflektor v ose za generátorem a v ose za anténou.

Při použití odrazné plochy – reflektoru anténa přijímá tři vlny. Vlnu přímou, vlnu odraženou od povrchu střechy a vlnu odraženou od reflektoru. Z toho vyplývá, že naměřené výsledky jsou platné pro danou konfiguraci měřicího pracoviště a nemohou být použity jako všeobecně platné pravidlo. Na druhou stranu výsledkem měření nemají být konkrétní odchylky na daných frekvencích, ale informace o tom, jak vzdálený předmět způsobující odrazy by měl být, aby odchylka výsledku byla nejvýše do stanovené hodnoty. Jako maximální odchylku jsem zvolil 3,5 dB ve shodě s principem stanovení elipsy z obrázku 4.1. Součtem vlny přímé a odražené, která má poloviční intenzitu, se naměřená hodnota zvýší právě o 3,5 dB ve srovnání s intenzitou pouze vlny přímé.

Odrazná plocha umístěná kolmo na osu spojující CNE generátor a přijímací anténu

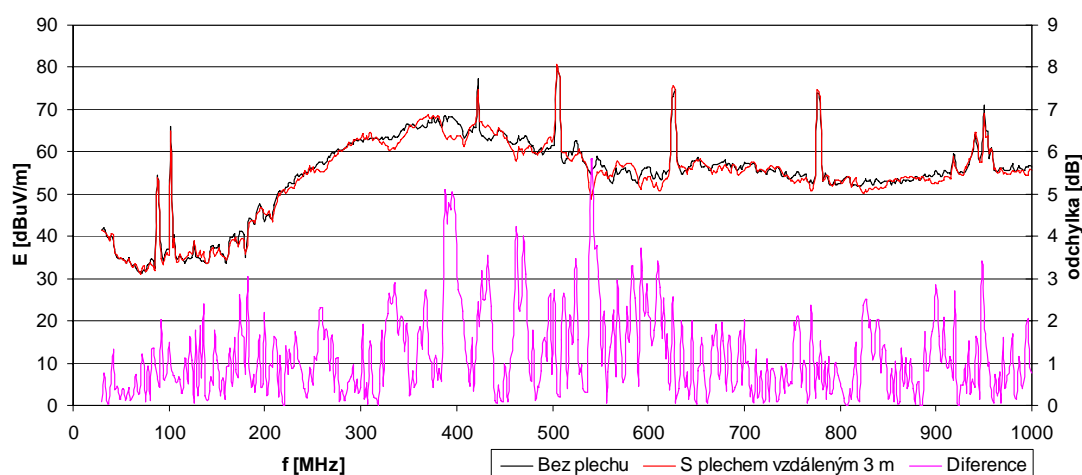
Při tomto měření byla odrazná plocha posouvána po kolmici na spojnici CNE generátoru a přijímací antény. Posun byl s krokem 0,5 m po dráze od 1 metru do 3 metrů od spojnice antény a CNE generátoru (obrázek 4.2). Výsledek měření pro vzdálenost 3 m je na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Odrazná plocha umístěná 3 m na boku mezi generátorem a anténou, horizontální polarizace

V případě umístění odrazné plochy na boku a při měření s horizontální polarizací jsou odchylky už od vzdálenosti plochy dva metry nižší než 3,5 dB. V tomto případě vyhovují minimální rozměry volné plochy.

Měření s vertikální polarizací pro vzdálenost 3 m je na následujícím obrázku 4.4.

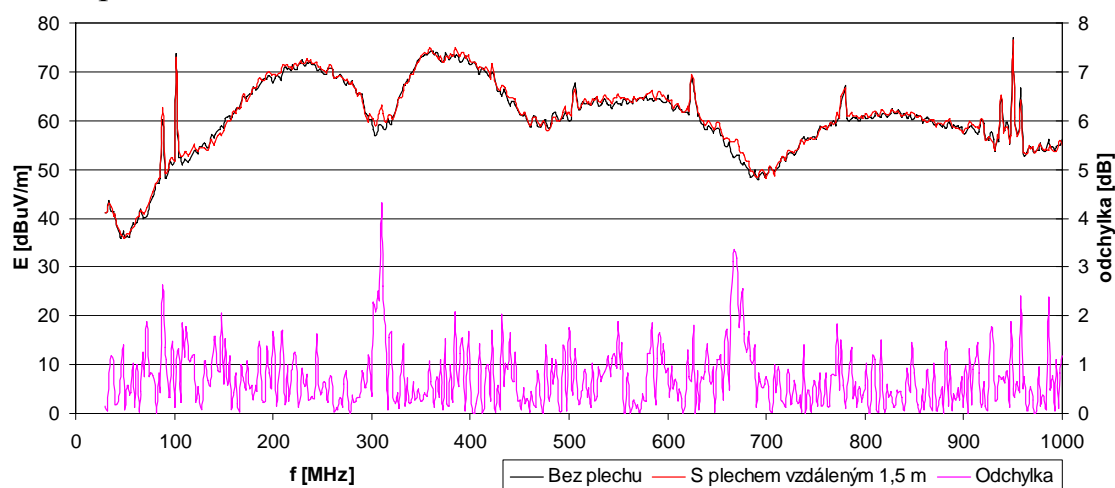


Obrázek 4.4: Odrazná plocha umístěná 3 m na boku bokem mezi generátorem a anténou, vertikální polarizace

Při vertikální polarizaci byly rozdíly i pro vzdálenost odrazné plochy 3 metry vyšší než hraničních 3,5 dB. Pro předcertifikační pracoviště na volném prostranství s měřicí vzdáleností 3 metry a odchylkou nižší než 3,5 dB je zapotřebí minimální šíře volné plochy v místě odrazné plochy alespoň 7 metrů.

Odrazná plocha umístěná za anténou

Při konfiguraci tohoto měření byla odrazná plocha umístěna za anténu a zároveň v ose spojující anténu a CNE generátor. Krok posunu plochy byl opět 0,5 metru a počáteční hodnota byla 1 metr a konečná 2,5 metru za anténou. Obrázky 4.5 a 4.6 zobrazují výsledky měření pro vzdálenost 1,5 metru, což je minimální doporučená vzdálenost pro třímetrovou měřicí vzdálenost dle obrázku 4.1.

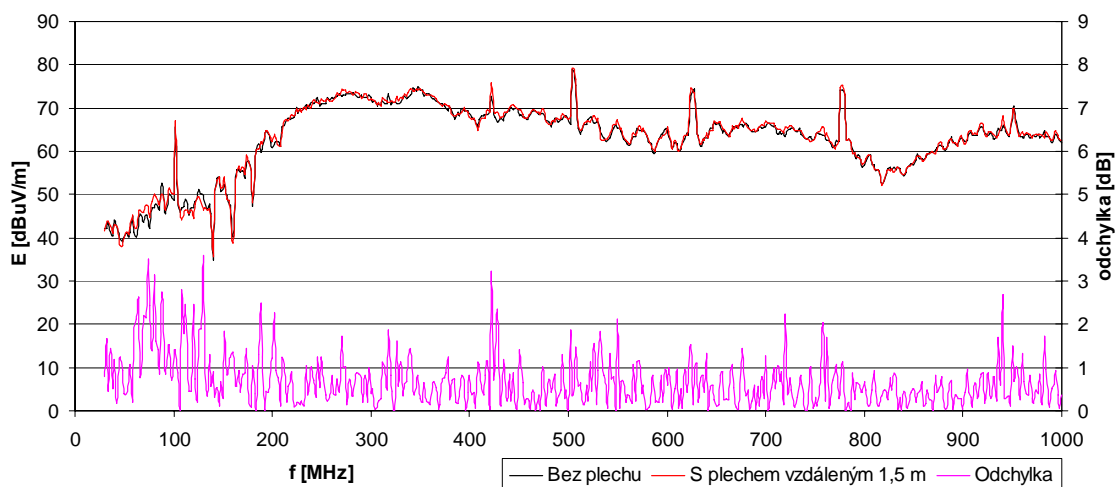


Obrázek 4.5: Odrazná plocha umístěná 1,5 m za anténou, horizontální polarizace

Při umístění odrazné plochy za anténou a při měření s horizontální polarizací byly odchylky až při vzdálenosti plochy 2 m za anténou nižší než stanovený limit. Nicméně při vzdálenosti 1,5 metrů byly všechny hodnoty pod limitem, výjimkou je

bod na kmitočtu 308 MHz s hodnotou 4,3 dB. Dá se tedy říci, že pomíneme-li velmi úzkopásmové překročení limitu, tak vzdálenost 1,5 metrů vyhovuje a tedy je splněna i podmínka volné plochy z obrázku 4.1.

Výsledky měření s vertikální polarizací jsou na obrázcích 4.6 a 4.7.

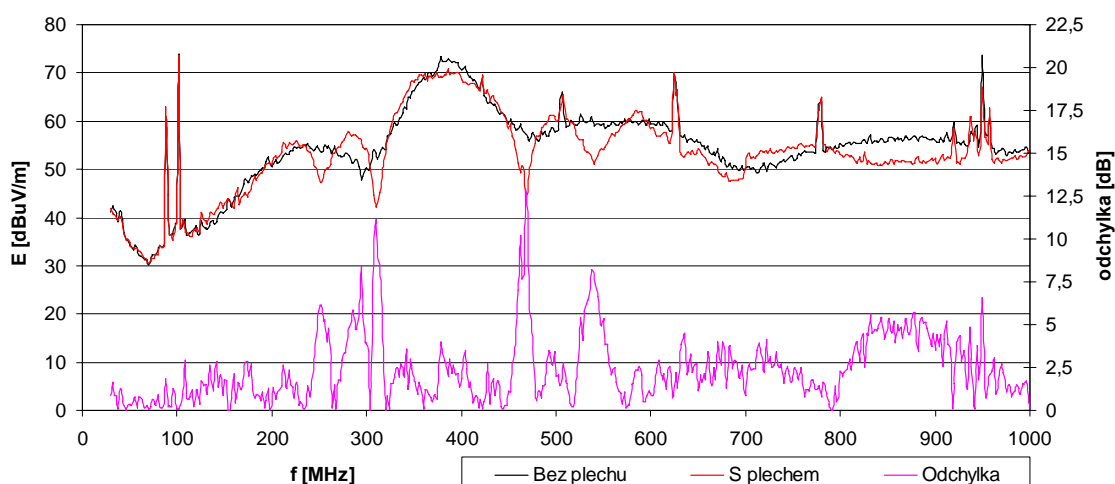


Obrázek 4.6: Odrazná plocha umístěná 1,5 za anténou, vertikální polarizace

U tohoto měření se předpokládal pouze malý vliv odrazné plochy díky směrovým charakteristikám přijímací antény, což bylo měřením potvrzeno. U vertikální polarizace jsou odchylky v pásmu od 30 do cca 200 MHz vyšší než v pásmu zbývajícím, což je způsobeno bikónickou částí antény, která v tomto pásmu nemá tak výrazně směrovou charakteristiku jako logaritmicko-periodická část. Velikost doporučené volné plochy pracoviště na otevřeném prostranství za měřicí anténou je pro obě polarizace dle doporučení z obrázku 4.1, ale se zanedbáním úzkopásmového překročení limitní hodnoty 3,5 dB.

Odrazná plocha umístěna za CNE III generátorem

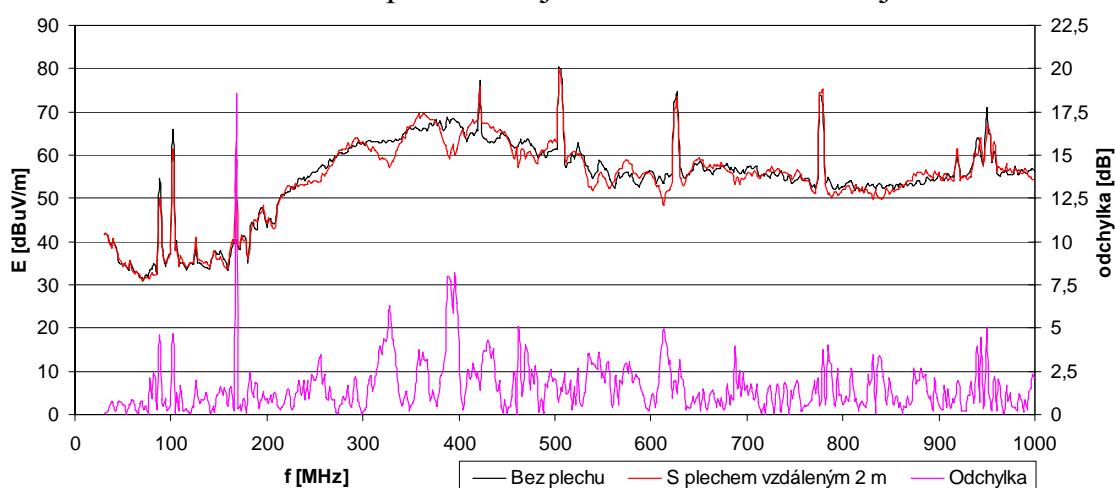
Poslední sada měření byla pro umístění odrazné plochy za CNE generátor. Krok byl opět po jedné polovině metru s počáteční vzdáleností 0,5 metru a konečná vzdálenost byla 2 metry. Výsledek měření pro horizontální polarizaci je na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: Odrazná plocha umístěná 2 m za generátorem, horizontální polarizace

Z měření vyplývá, že ani při vzdálenosti odrazné plochy umístěné 2 m za CNE generátorem nejsou odchylky pod limitem 3,5 dB. Z trendu jednotlivých grafů odhadují, že při vzdálenosti odrazné plochy 3 metry za CNE generátorem budou odchylky pod 3,5 dB.

Výsledek měření s vertikální polarizací je zobrazen na následujícím obrázku 4.8.



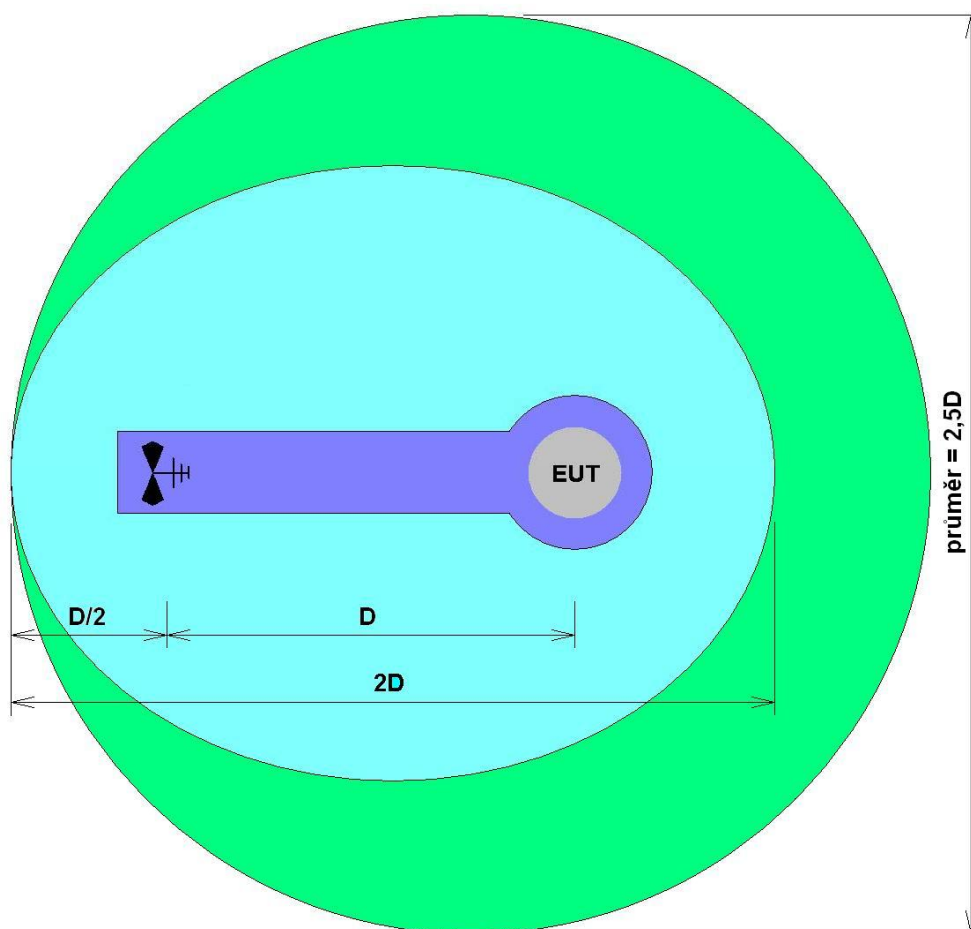
Obrázek 4.8: Odrazná plocha umístěná 2 m za generátorem, vertikální polarizace

Při měření s vertikální polarizací byly odchylky sice nižší než při polarizaci horizontální, ale v tomto případě i vzdálenost odrazné plochy větší než doporučená (dle obrázku 4.1) nestačí na splnění limitu 3,5 dB. Stejně jako při horizontální polarizaci odhadují, že na vzdálenosti 3 metry bude limit splněn.

Takto velký vliv odrazné plochy na rozdíl od předchozích dvou měření (plocha na boku a za anténou) nebyl při tomto umístění plochy očekáván. Očekáván byl vliv podobný jako u umístění odrazné plochy na boku mezi CNE generátor a přijímací anténu.

Shrnu-li výsledky všech tří pozic odrazné plochy (reflektoru), tak pro další předcertifikační měření plyne doporučení ve formě nových rozměrů plochy pracoviště na otevřeném prostranství - OATS (obrázek 4.9).

Základním tvarem pracoviště je kružnice s průměrem dva a půl násobku měřicí vzdálenosti, uvnitř které jsou jak zkoušené zařízení, tak i přijímací anténa umístěny na přímce protínající osu kružnice. Přijímací anténa je pak od kružnice vzdálená o polovinu měřicí vzdálenosti a z toho vyplývá, že zkoušené zařízení je vzdálené od kružnice o jednu měřicí vzdálenost. Tato konfigurace pracoviště je samozřejmě platná pro použitou měřicí vzdálenost, která činila 3 metry. Tvar a nové doporučené rozměry pracoviště jsou způsobeny hlavně vlastnostmi použité přijímací antény, jmenovitě vyzařovacími charakteristikami.



Obrázek 4.9: Nové doporučené rozměry plochy pro předcertifikační pracoviště na otevřeném prostranství

Obrázek 4.9 také ukazuje i minimální rozměry vodivé zemní plochy (fialová barva), kterou je možné použít. Pokud však bude zemní plocha použita, je nutné hledat maximum intenzity pole v místě měřicí antény pomocí výškově nastavitelného stožáru, na kterém je anténa připevněna.

Pokud stožár není k dispozici, ale jsou k dispozici absorbéry, tak je možné měřit i s konstantní výškou antény a absorbéry vyskládat plochu mezi anténou a zkoušeným zařízením a omezit tak vliv odražené elektromagnetické vlny. Pak se měření bude

blížit měření v bezodrazové komoře a na výsledek měření je možné použít poznatky z kapitoly 3 o porovnání částečně a plně bezodrazové komory.

5 DOPORUČENÍ PRO PŘEDCERTIFIKAČNÍ MĚŘENÍ VYZÁŘENÉHO RUŠENÍ

Vzhledem k tomu, že do dnešních dnů nebyla sjednocena metodika ani postupy pro předcertifikační testy, je velice obtížné metodiku vytvořit či doporučit měřicí postupy. Navíc vše je komplikováno skutečností, že každý, kdo by chtěl předcertifikační měření provádět, bude mít jiné přístrojové vybavení, co se kvality i kvantity týče, případně bude, nebo nebude mít k dispozici stíněnou částečně nebo plně bezodrazovou komoru.

Vzhledem k téměř nekonečnému množství kombinacím vybavení a typů pracovišť není možné jednotnou metodiku vypracovat, proto se tato kapitola zabývá doporučeními, která mají zmírnit vliv nedokonalostí nejen přístrojového vybavení, ale hlavně měřicího pracoviště, které je největším zdrojem neurčitostí měření vyzářeného rušení.

Nejzákladnějším přístrojovým vybavením pro měření vyzářeného rušení je kalibrovaná měřicí anténa a měřič rušení (spektrální analyzátor nebo měřicí přijímač). Kalibrovanou anténou rozumíme anténu, ke které je od jejího výrobce přiložen kalibrační protokol průběhem anténního faktoru. Ten můžeme obvykle vložit do měřiče rušení, aby se automaticky přičítal k měřenému napětí a zobrazovala se přímo intenzita pole.

Nejběžnější anténou používanou pro testy EMC je anténa nazývaná BiLog, což je komerční název odvozený od konstrukce antény, která je složena z dipólové a logaritmicko-periodické antény. Dipólová část je určena pro příjem v kmitočtovém pásmu 30 až cca 300 MHz a zkratka Bi v názvu je zkratkou pro bikónickou anténu, tzn. že dipól má kónické rozšíření (příp. další modifikace, např. kapacitní prodloužení) na obou ramenech k rozšíření pracovního frekvenčního pásma. Logaritmicko-periodická část pracuje od frekvence cca 300 MHz do 1 (2) GHz.

5.1 MĚŘIČ RUŠENÍ

Jako měřič rušení je možné použít spektrální analyzátor nebo měřicí přijímač. Dnes jsou k dostání přístroje pro předcertifikační testování od mnoha uznávaných výrobců, které se už v podstatě neliší od přístrojů pro testy plnohodnotné – certifikované. Pro ty se především používají měřicí přijímače (v anglickém jazyce *measuring receiver*, *measurement receiver* nebo *test receiver*). Spektrální analyzátor (*spectrum analyzer*), pokud jsou přímo určeny pro předcertifikační testy, tak se od klasických analyzátorů liší především ve filtrech (viz kapitola 1.3.1). U analyzátorů ale záleží velmi na znalostech obsluhy, aby výsledky nebyly zatíženy chybou způsobenou špatným nastavením.

Měřicí přijímače mají před spektrálními analyzátory mnoho předností podle [27]:

- Výstup přijímače je jen na jedné frekvenci, ale dnešní přijímače umí i zobrazení jako spektrální analyzátoři.
- Podstatně lepší citlivost, umožňující rozlišit signály od šumu i v úrovních mnohem nižších než je limit vyzařování.
- Větší dynamický rozsah.
- Větší robustnost a odolnost vstupních obvodů proti přetížení.
- V podstatě jsou přijímače vytvořené dle CISPR standardů, aby splnily šířky pásma detektoru, typy detektorů, dynamiku...
- Frekvenční a amplitudová přesnost bývá lepší.
- Měření s kvazi-špičkovým (QP) detektorem je řádově rychlejší.

Větší odolnost přijímače než analyzátoru je dána přeladitelnými filtry na vstupu přijímače, vstup je úzkopásmový. Ke vstupním obvodům (atenuátor, předzesilovač, směšovač) se dostane jen signál na dané frekvenci, ostatní frekvenční pásmo je potlačeno a tak signály s vysokou úrovní mimo naladěnou frekvenci nemohou způsobit přetížení (overload) vstupních obvodů nebo dokonce jejich poškození.

Spektrální analyzátoři bývají podstatně levnější než přijímače, ale mají horší vlastnosti hlavně, co se citlivosti týče a také mají vyšší vlastní šumové pozadí. Na druhou stranu při měření vyzařování nám v podstatě jde jen o skutečnost, zda zkoušené zařízení vyzařuje intenzitu pole vyšší než je limit a to už jsou hodnoty vysoko nad vlastním šumovým pozadím, takže otázka citlivosti není příliš podstatnou.

5.2 PŘIJÍMACÍ ANTÉNA

Přijímací (měřicí) anténa je jednou z podstatných součástí měřicí soustavy. Její vlastnosti velkou měrou ovlivňují výsledky měření.

Nejpodstatnějším údajem u antén pro EMC měření je průběh anténního faktoru (AF), který udává, v jaké míře (jak dobře) anténa dokáže převést intenzitu elektrického pole na elektrické napětí, které je pak měřeno měřičem rušení.

Nejvhodnější anténou pro předcertifikační testování je anténa typu BiLog (příklad na obrázku 6.1). Je to díky její širokopásmovosti, protože není potřeba antény nepokrývající celé měřené pásmo v průběhu měření vyměňovat. Dnes dostupné BiLogy (viz kapitola 1.2.4) mají frekvenční rozsah běžně od 30 MHz do 2 GHz, takže s rezervou pokrývají požadavky dnešních norem.

Další velmi výhodnou vlastností BiLogu jsou tvary směrových charakteristik. Velká směrovost antény je výhodná k potlačování vlivu odražených vln. Čím tedy bude směrovost použité antény větší s malými nebo žádnými bočními laloky, tím větší bude potlačení vln odražených nejen od podlahy ale i od ostatních povrchů (předmětů,...) v okolí. V extrémním případě, kdyby vyzařovací úhel antény rozměrově pokryl právě jen zkoušené zařízení, pak by se měření v podstatě blížilo měření v plně bezodrazové komoře a stačilo by jen upravit hodnoty limitů vyzařování (viz kapitola 3).

5.3 TESTOVACÍ MÍSTO

Pokud je pro měření k dispozici stíněná částečně bezodrazová komora, tak tato kapitola v podstatě nemá význam, protože takové měření se v podstatě od certifikovaného neliší a je „dokonalé“. V této kapitole se budu zabývat pouze měřeními na otevřeném pracovišti, případně v místnostech jako jsou laboratoře atd.

Vzhledem k tomu, že velká část neurčitosti měření na předcertifikačním pracovišti (měření mimo stíněnou částečně bezodrazovou komoru) je způsobena nežádoucími i mnohonásobnými odrazy, je třeba volit uspořádání pracoviště tak, aby vznik odrazů a případně i jejich vliv byl minimalizován. Měříme-li na běžném pracovišti (střecha, laboratoř, ...) a dodržíme-li minimální rozměry plochy bez předmětů, které by mohly způsobovat odrazy, pak jedinou plochou je podlaha. A pokud bychom omezili i její vliv, tak se v podstatě přiblížíme k měření v plně bezodrazové komoře (až na rušivé pozadí).

Jednou možností jak omezit vliv podlahy je použití absorpčních materiálů. Základním materiál je ferit ve formě destiček nebo jehlanů a dále pak grafitem plněné pěny opět ve formě jehlanů. Novější konstrukce jehlanů využívá tenkého (cca 10 μm) rezistivního filmu na nosném podkladu.

Základ pro omezení vzniku a vlivu nežádoucích odrazů elektromagnetických vln je v tom, aby všechny povrchy, na kterých by k odrazu mohlo dojít, byly v dostatečné vzdálenosti od zkoušeného zařízení i od přijímací antény. Při měření byla přijímací anténa nasměrována přímo na zkoušené zařízení. Někdy se doporučuje anténu směřovat pod zkoušené zařízení tak, aby anténa přijímala přibližně stejně jak vlnu přímou, tak i odraženou. V tomto případě je ale nutné použít výškově nastavitelný stožár přijímací antény a hledat maximální intenzitu pole na daném kmítočtu.

6 DOPORUČENÝ POSTUP PŘI PŘEDCERTIFIKAČNÍM MĚŘENÍ VYZÁŘENÉHO RUŠENÍ

Tato podkapitola popisuje, jak si sestavit pracoviště a na co dát při měření pozor. Předpokladem pro následující doporučené měření vyzářeného rušení je použití přijímací antény typu BiLog, protože umožňuje jednodušší a přesnější měření, než např. laditelné dipóly.

- Pracoviště sestavíme při dodržení minimálního volného prostoru dle kapitoly 5 a obrázku 5.26. Pokud z prostorových důvodů doporučené rozměry dodržet nelze, tak za přijímací anténou je vhodné mít volný prostor alespoň 1 metr, na boku mezi zkoušeným zařízením a anténou 1,5 metru a za zkoušeným zařízením alespoň 2 metry. Takto by měl být vliv ploch na výsledek do 6-ti decibelů. Anténu namíříme přímo na zatím vypnuté zkoušené zařízení (EUT).
- Na měřiči rušení nastavíme špičkový detektor a odpovídající filtr (120 kHz).
- Pokud máme k dispozici speciální signálový generátor (ERS, CNE, ...), tak provedeme kalibraci pracoviště.

- Pokud máme k dispozici ruční sondu blízkého pole, tak můžeme orientačně změřit na jakých frekvencích a v jakém směru, případně i ze kterého místa (prostorově) zkoušeného zařízení rušení vychází. Pokud určíme prostorově i místo, ze kterého rušení vychází, tak toto místo umístíme přesně na místo, kde byl geometrický střed speciálního signálového zdroje, aby se zamezilo chybě způsobené nesouhlasným umístěním speciálního signálového zdroje a následně zdroje rušení.
- Provedeme měření úrovně pozadí přes celé pásmo ($30 \div 1000$ MHz) a v obou polarizacích (V + H), abychom se ujistili, že zde není zdroj rušení tak silný, aby mohl přetížit (overload) vstupní obvod měřiče. Frekvenční krok volíme maximálně polovinu použitého filtru, což je 60 kHz, ale lépe je volit krok 40 kHz. Tak zabezpečíme, aby při měření nebyl žádný případný signál přeskočen, nebo chybně změřen. Hodnoty uložíme do počítače, který použijeme i pro řízení měřicího procesu. Lze samozřejmě měřit i bez počítače, ale vyhodnocování výsledků bude složitější a samotné měření pracnější.
- Zapneme zkoušené zařízení, provedeme měření úrovně a uložíme hodnoty do počítače. Pokud si nejsme jisti směrem, kterým zařízení vysílá nejsilnější rušení, pootáčíme zařízením o maximálně 30 stupňů (v horizontální rovině) a provádíme po každém pootočení nové proměření a uložení hodnot, nebo využijeme funkce *HoldMax*. Pokud zařízení viditelně rušení vysílá, můžeme zkontrolovat, zda jsou hodnoty nad limit. Jestli ano, proměříme okolí tohoto kmitočtu s kvazi-špičkovým detektorem. V tomto bodě můžeme použít i různé metody pro respektování rušivého pozadí.
- Vypneme EUT a znovu proměříme a uložíme pozadí. Druhé měření pozadí slouží ke kontrole situace a také dává představu o změnách rušivého elektromagnetického pozadí v čase.
- Následuje zpracování naměřených dat.

7 ZÁVĚR

Ve své disertační práci jsem se zabýval předcertifikačním měřením EMC a soustředil jsem se na měření vyzářeného rušení, tedy na kmitočtové pásmo od 30 do 1000 MHz. V rámci měření vyzářeného rušení jsem se zaměřil na omezování vlivu rušivého elektromagnetického pozadí a především na omezování vlivu uspořádání a vybavení testovacího pracoviště na výsledky měření.

Pro splnění cíle této práce – návrh ověřeného postupu pro objektivní předcertifikační měření EMC – jsem provedl rozbor současného stavu uvedené problematiky, podrobně jsem specifikoval odlišnosti předcertifikačních testů od testů plnohodnotných prováděných oznamenými subjekty, zhodnotil běžné a často používané metody měření vyzářeného rušení, měřicí antény, speciální signálové zdroje i ostatní aspekty měření vyzářeného rušení. K dosavadnímu vývoji v oblasti předcertifikačního měření vyzářeného rušení lze říci, že nebyla doposud sestavena jednotná metodika pro provádění těchto testů.

Doporučený postup „kalibrace“ s využitím speciálních signálových zdrojů jsem ověřil a rozšířil o proceduru s využitím ručních sond blízkého pole, při které je omezen vliv rozměrů zkoušeného zařízení na výsledek měření jeho vyzařování. Při „kalibraci“ tří různých předcertifikačních testovacích pracovišť jsem ověřil doporučení, že jakékoli povrchy, které by mohly způsobovat odrazy, by měly být od zkoušeného zařízení i od měřicí antény co nejdále, aby se tak omezil nežádoucí vliv odrazů elektromagnetického vlnění ze zkoušeného zařízení.

Dále jsem porovnal výsledky měření vyzářeného rušení v částečně bezodrazových a plně bezodrazových komorách, a zjistil jsem, že je možné po zpřísnění limitu vyzařování o 6 dB, nebo aplikaci korekčních křivek, použít plně bezodrazovou komoru k předcertifikačním testům EMC.

Testovací pracoviště je největším zdrojem chyb a neurčitostí měření a je třeba jeho výběru a sestavení věnovat velkou pozornost. Měřením jsem ověřil, že stávající doporučené minimální rozměry volné plochy na otevřeném pracovišti při použití měřicí antény typu BiLog jsou pro předcertifikační testování nedostatečné, a proto jsem pro testovací pracoviště navrhl nové minimální rozměry.

Dle výsledků měření byl zpracován návrh na úpravu běžného pracoviště (minimální plocha bez předmětů, který by mohly způsobovat odraz, použití absorpčních materiálů na podlahu, výška podstavce pod zkoušeným zařízením) a celkový postup při předcertifikačním měření.

S využitím informací o dosavadním vývoji předcertifikačních testů, vlastních měření a doporučení jsem sestavil doporučený postup pro provádění předcertifikačního měření vyzářeného rušení se zohledněním minimálního přístrojového vybavení, kterým je kalibrovaná měřicí anténa typu BiLog a spektrální analyzátor. Pokud toto přístrojové vybavení navíc doplníme o sondu blízkého pole a speciální signálový zdroj, budeme tak schopni získat výsledky s výrazně menší chybou.

8 LITERATURA

- [1] SVAČINA, J.: *Elektromagnetická kompatibilita*, elektronická skripta, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004. 171 stran
- [2] McCormack, L. *Types of EMC testing and their roles*. York EMC Services, Ltd, University of York, UK, 14 stran, [online] cit. dne 26.8.2009, dostupné z: <http://www.logistics.pl/for_emc/download/york_types_of_testing.pdf>
- [3] VÍDENKA, R. Uncertainty in EMC Measurement (with sight on radiated disturbance 30 to 1000 MHz). In *Proceedings of the 17th International Travelling Summer School on Microwaves and Lightwaves*. Pfoztzheim, Germany. 2007. p 259–261
- [4] ČSN CISPR 16-1: *Specifikace metod a přístrojů pro měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení – Část 1: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti proti vysokofrekvenčnímu rušení*, Česká technická norma, Český normalizační institut. Praha, červenec 2004
- [5] ČSN CISPR 16-2: *Specifikace metod a přístrojů pro měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení – Část 2: Metody měření rušení a odolnosti*, Česká technická norma, Český normalizační institut. Praha, říjen 2003
- [6] Bassak, G. Four ways to remove ambient noise. *Test & Measurement World*, 8.1.2002, [online] citováno 26.8.2009, dostupné z: <<http://www.tmworld.com/article/CA235287.html>>
- [7] Přednáškové materiály a poznámky prof. Ing. Jiřího Svačiny, Csc. k tématu Elektromagnetická kompatibilita
- [8] VÍDENKA, R.; SVAČINA, J. Dealing with Ambient Disturbing Signals at Pre-compliance Test Sites. In *Proceedings of 19th International Conference Radioelektronika 2009*. Brno: 2009. s. 271-274. ISBN: 978-1-4244-3536-4
- [9] SVAČINA, J.: *Open-Area Test Site Measurements: Dealing with Ambient*, 2005, [online] citováno 26.8.2009, dostupné z: <<http://www.ce-mag.com/archive/05/01/006.html>>
- [10] *The Comparison Noise Emitter III*. poslední revize 13. května 2009, [online], citováno 17. března 2008, dostupné z: <<http://www.yorkemc.co.uk/instrumentation/cnei3/>>
- [11] MARVIN, A.C. *The Comparison Noise Emitter and other reference radiators and their uses in EMC Measurements*. poslední revize 25. listopadu 2008, [online], citováno 26.8.2009, dostupné z: <<http://www.yorkemc.co.uk/info/technical/papers/acm-cne.html>>
- [12] Antennas/ETS-Lindgren, [online], citováno 26.8.2009, dostupné z <www.ets-lindgren.com>
- [13] CISPR 16-4-1: *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainties in standardized EMC tests*, Feb. 2005
- [14] CISPR 16-4-2: *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainty in EMC measurement*, Nov. 2003

- [15] CISPR 16-4-3: *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-3: Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistical consideration in the determination of EMC compliance of mass-produced products*, May 2005
- [16] CISPR 16-4-4: *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits*, Nov. 2003
- [17] VÍDENKA, R. Unusual usage of Emission Reference Source. In *Proceedings of the 12th International Student Conference on Electrical Engineering - Poster 2008*. Praha: 2008. s. 1-4
- [18] VÍDENKA, R., SVAČINA, J., DŘÍNOVSKÝ, J. EM disturbance source position effect on measured field strength. In *Proceedings of the 14th conference on microwave techniques Comite 2008*, s 343 – 346
- [19] VÍDENKA, R.; SVAČINA, J. Using ERS at Pre-compliance EMC Test. In *Proceedings of the seventeenth International Electronical and Computer Science Conference ERK 2008*. Portorož, Slovinsko: 2008. s. 401-404. ISSN: 1581-4572
- [20] VÍDENKA, R. Using CNE for Pre-compliance Test Site Calibration. In *Proceedings of the 13th International Student Conference on Electrical Engineering - Poster 2009*. Praha: 2009. s. 1-4
- [20] KIEMEL, G. *Comparing Fully Anechoic Chambers to Semianechoic Limits*. 2002, [online], citováno 26.8.2009, dostupné z: <<http://www.ce-mag.com/archive/02/Spring/kiemel.html>>
- [21] VÍDENKA, R.; SVAČINA, J. Dealing with Ambient Disturbing Signals at Pre-compliance Test Sites. In *Proceedings of 19th International Conference Radioelektronika 2009*. Brno: 2009. s. 271-274. ISBN: 978-1-4244-3536-4
- [22] WILIAMS, T. *EMC for Product Designers*, Fourth edition, Elsevier Ltd, ISBN-13: 978-0-75-068170-4, 2007, 498 pages
- [23] *TDK Chambers and Absorber Materials*. TDK RF Solutions Inc., 20 stran, [online], citováno 26.8.2009, dostupné z: <http://www.emca.com/brochures/TDK_Chambers_and_Absorber_Materials.pdf>
- [24] VÍDENKA, R.; SVAČINA, J. Jak na měření EMI při předcertifikačních testech EMC. *Sborník příspěvků konference Zvůle 2008*. Brno: VUT v Brně, FEKT, 2008. s. 276-279. ISBN: 978-80-214-3709-8
- [25] VÍDENKA, R.; SVAČINA, J. Introduction to EMC Pre-compliance Testing. In *Proceedings of the 17th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications MIKON 2008*. Wroclaw, Poland: 2008. s. 260-263. ISBN: 83-906662-7-8
- [26] VÍDENKA, R. Nové metody a technologie pro elektromagnetickou kompatibilitu. In *Sborník semináře o řešení doktorského projektu Grantové agentury České republiky č. 102/08/H027 "Pokročilé metody, struktury a komponenty elektronické bezdrátové komunikace"*. FEKT VUT. Brno: 2008. s. 98-101. ISBN: 978-80-214-3753-1
- [27] STECHER, M. *Measurement uncertainty in EMI emission measurements*. 1997, [online],
- [28] LECKLIDER, T. *Choosing the Right EMC Test Lab*. poslední revize 30. srpna 2007, [online], citováno 26.8.2009, dostupné z: <http://archive.evaluationengineering.com/archive/articles/1199emc.htm>

Curriculum Vitae

Name: Rostislav VÍDENKA
Born: August 2th 1981 in Plzeň
Contact: xviden01@stud.feec.vutbr.cz

Education

2001 – 2006 **Technical University of Brno / Department of Radio Electronics**

Pre-graduate study of Radio Electronics

State exam passed in June 2006

Diploma thesis *Construction modification of microwave generator*
defended in June 2006

2006 – 2009 **Technical University of Brno / Department of Radio Electronics**

Doctoral study programme Electrical Engineering and Communication

State exam will be passed in January 2010

Experience

2/05 – 7/05 Study stay at University of Applied Technologies, Wiesbaden,
Germany

9/08 – 10/08 **ŠKODA Auto a.s.**

study stay in department of electromagnetic compatibility

Projects

2009 Fond rozvoje vysokých škol 2009: Creation of laboratory exercises for
subject Electromagnetic compatibility

Languages

English and German, both in fluent spoken and written form

ABSTRAKT

Tato dizertační práce se zabývá předcertifikačními testy EMC se zaměřením na měření vyzářeného rušení.

Práce shrnuje dosavadní poznatky omezování vlivu rušivého elektromagnetického pozadí a zaměřuje se na omezování vlivu nedokonalostí pracoviště a na výsledky měření vyzářeného rušení. Dále je popsán postup pro „kalibraci“ předcertifikačního měřicího pracoviště s využitím speciálních signálových zdrojů spolu s doporučeními, kterým bodům při „kalibraci“ je nutné věnovat pozornost. Jsou zde uvedeny výsledky porovnání měření v plně a v částečně bezodrazových komorách. Probrány jsou některé metody k potlačování vlivu rušivého elektromagnetického pozadí na výsledky měření vyzářeného rušení. Velká pozornost je pak věnována výběru a sestavení pracoviště na otevřeném prostředí a doporučením pro jeho minimální rozměry.

V závěru práce je uveden doporučený postup pro předcertifikační měření vyzářeného rušení se zohledněním dostupného přístrojového vybavení.

ABSTRACT

This doctoral thesis deals with EMC pre-compliance testing of radiated disturbance.

The thesis summarizes present pieces of knowledge about restricting of disturbing ambient signals and focuses on restricting of test site imperfection influence on the measurement results. Pre-compliance test site “calibration” uses comparison signal sources. There were added up the recommendations for “calibration” steps, too. The semi-anechoic vs. fully-anechoic chambers measurements results were compared. Some methods for dealing with ambient disturbing signals were discussed and high attention was applied to the test site choice and the minimal dimension geometry was recommended.

There are presented recommendations for pre-compliance radiated disturbance measurements in the conclusion with the stress on available test equipment.